

PROPRIÉTÉS THERMOHYDRAULIQUES DES MOUSSES MÉTALLIQUES ET DESIGN D'ÉCHANGEURS



Jean-Michel Hugo^{1,2}

Frédéric Topin¹

François Rochat²

¹Laboratoire IUSTI CNRS UMR 7343

²MOTA SA Cooling System

iusti
UMR 6595

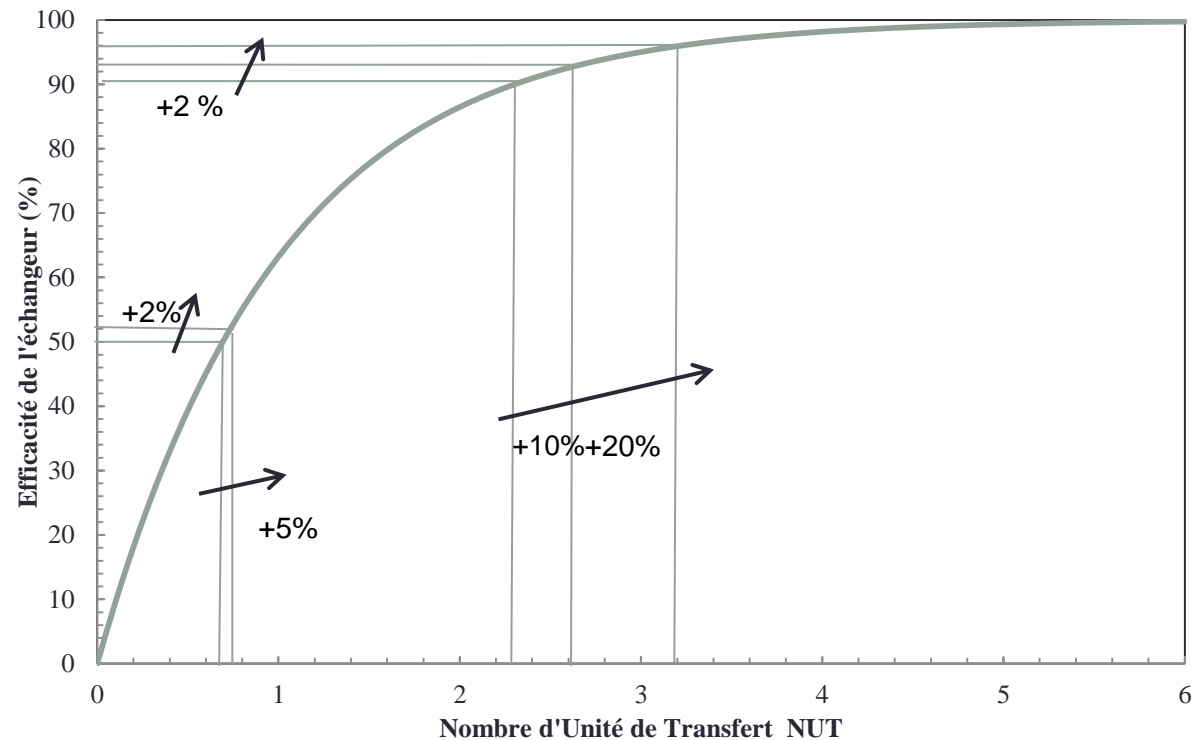
Espace Hamelin, 17 rue
Hamelin, Paris 16



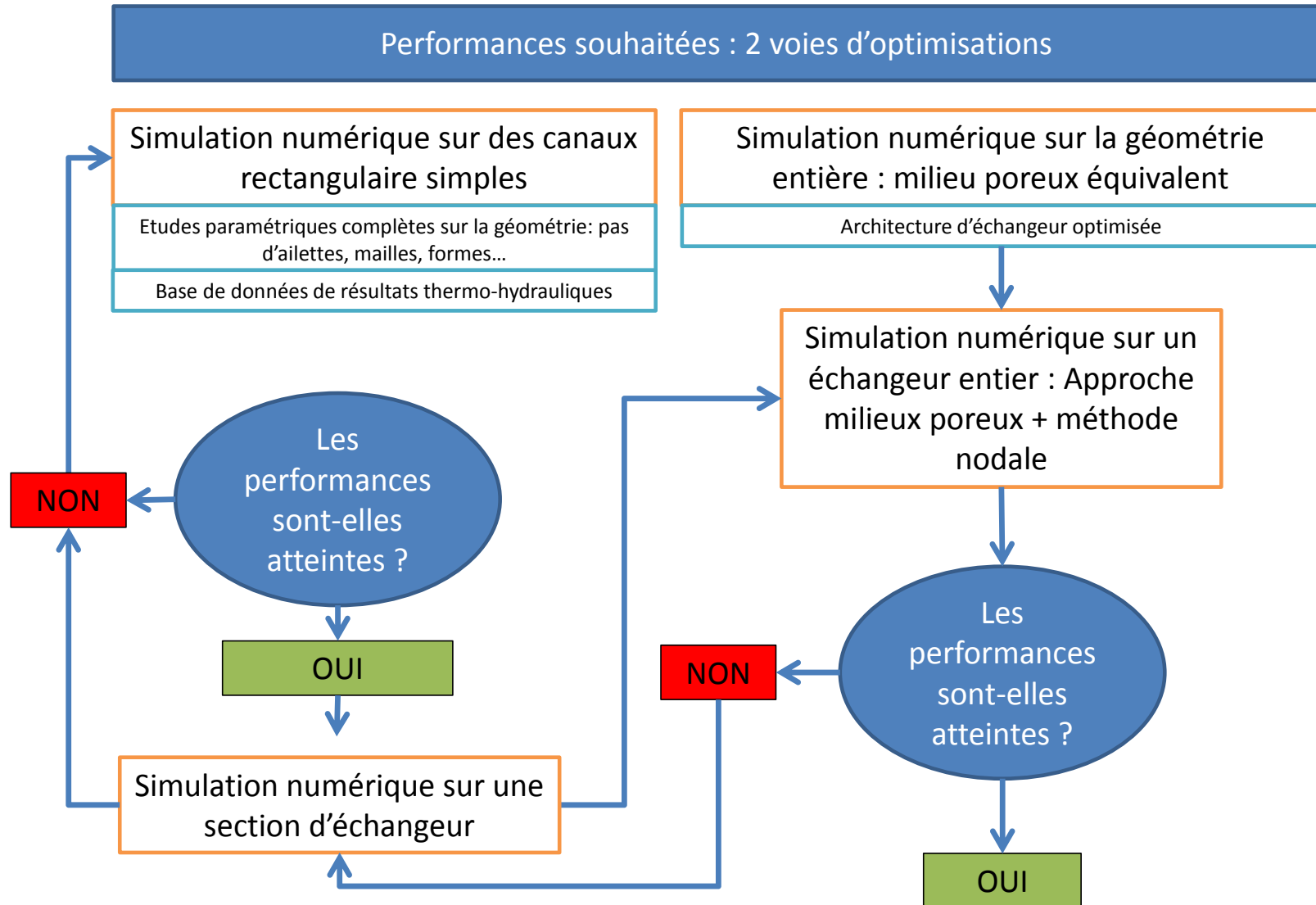
Sommaire

Echangeurs de chaleur compacts et à hautes performances

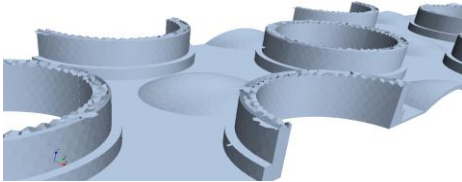
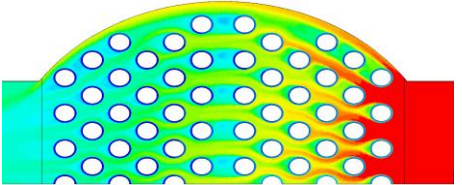
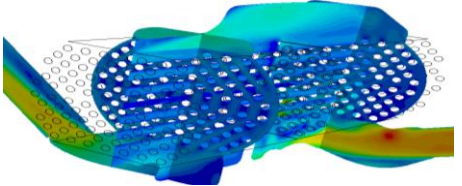
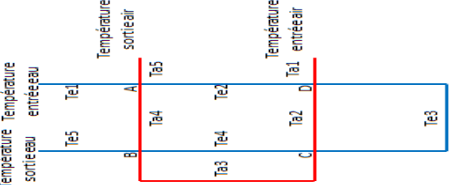
- Gain d'efficacité énergétique:
 - Augmentation des puissances échangées
 - Réduction des pertes de charge
 - Réduction de l'encombrement/masse
 - Réduction des coûts ...
- Approches multi-échelles
 - Optimisation des textures des surfaces d'échanges
 - Propriétés spécifiques des ailettes → géométrie échangeur



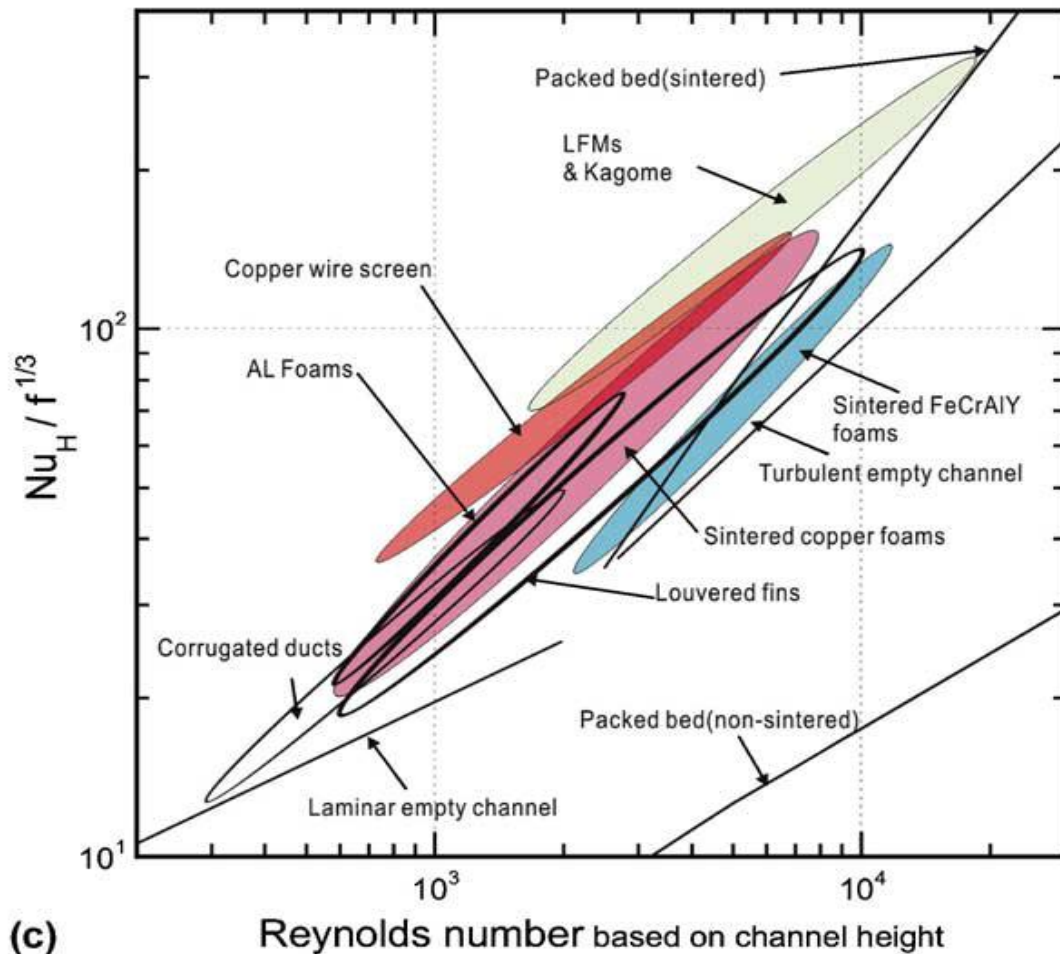
Méthodologie d'optimisation multi-échelles



Les différents niveaux d'étude

Approches / Niveau de l'échelle	Schéma de principe	Détails
Simulation directe à l'échelle millimétrique		<ul style="list-style-type: none"> • Volumes restreints à une maille élémentaire • Calculs rapides et comparatifs • Etudes paramétriques de la morphologie des ailettes
Simulation directe sur une section représentative d'échangeur		<ul style="list-style-type: none"> • Calcul sur une section élémentaire d'échangeur Mota • Prédiction des performances du nouveau faisceau • Détermination de propriétés Effectives.
Simulation milieu poreux équivalent sur une géométrie entière d'échangeur		<ul style="list-style-type: none"> • Simulation de la géométrie entière • Prédiction des performances globales de l'appareil • Etude paramétriques sur l'architecture
Approche nodale d'un faisceau tubes ailettes		<ul style="list-style-type: none"> • Synthèse de la base de données générée : proposition de corrélations propriétés thermophysiques/morphologiques • Outil de dimensionnement BE

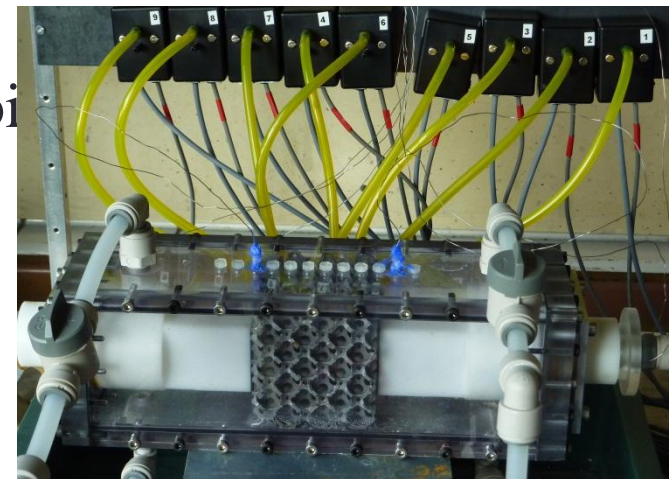
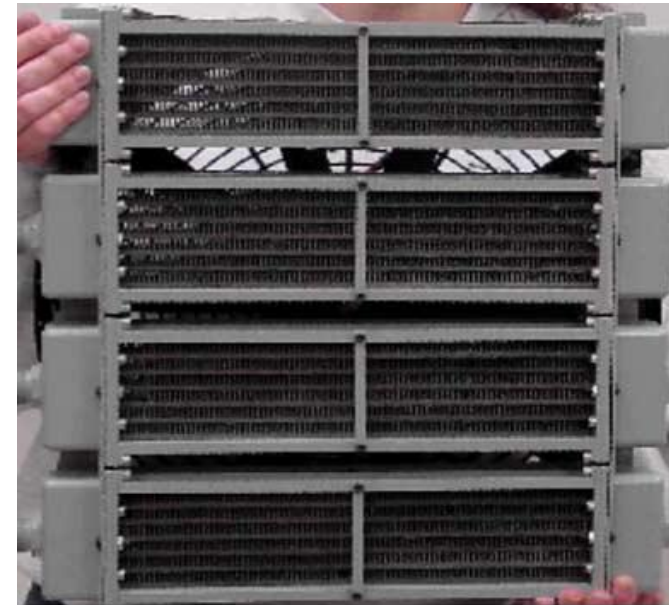
Pourquoi le matériau mousse ?



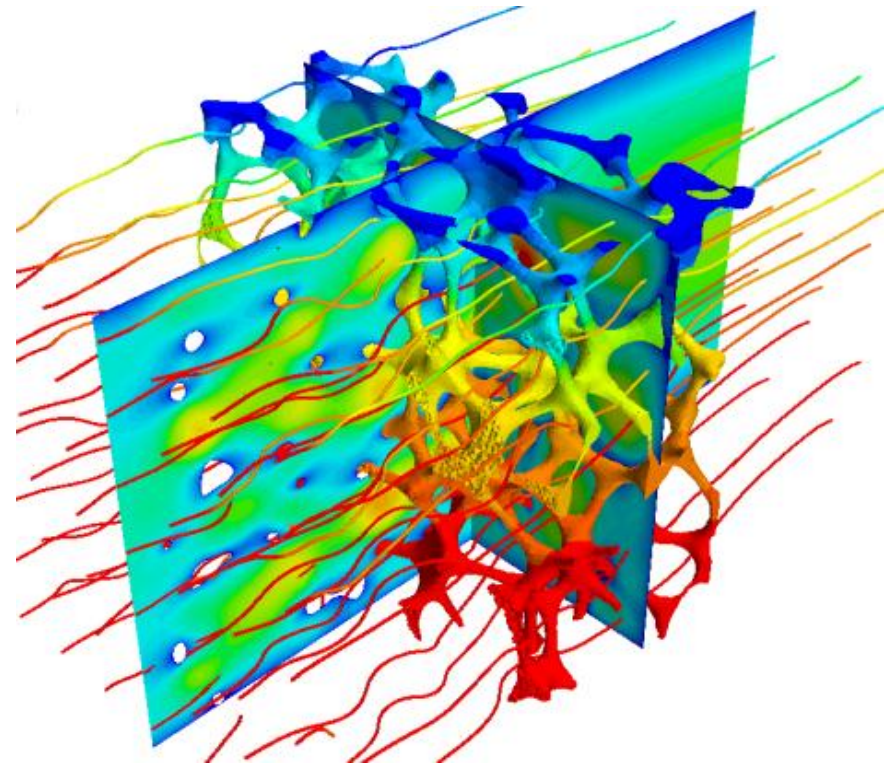
- Seulement entre 5% et 15% de solide
- Surface spécifique de 250 à 10000m²/m³
- Perméabilités relativement hautes.
- Des conductivités thermiques effectives de 5 à 30W/mK
- Une résistance:
 - aux chocs thermiques,
 - aux hautes températures,
 - à l'humidité,
 - à l'usure
 - aux cycles thermiques
 - aux hautes pressions
- Bon absorbeur de chocs
- Taille de pore et porosité contrôlées par les manufacturiers.
- Facilement usinables
- Excellents absorbeurs sonores
- Promoteurs de mélange

Les échangeurs à mousse

- Potentiel important pour :
 - Ecoulements à bas nombres de Reynolds
 - Echangeurs multifonctionnels
- Pas d'industrialisation – marché de niche
- Frilosité des clients/manufacturiers
- Verrous techniques : la liaison mousse/paroi
- Verrous scientifiques : peu de données généralisables – étude de cas



Simulation numérique à l'échelle du pore



Transferts conjugués dans une mousse de réplique.

- Relation morphologie/propriétés thermophysiques

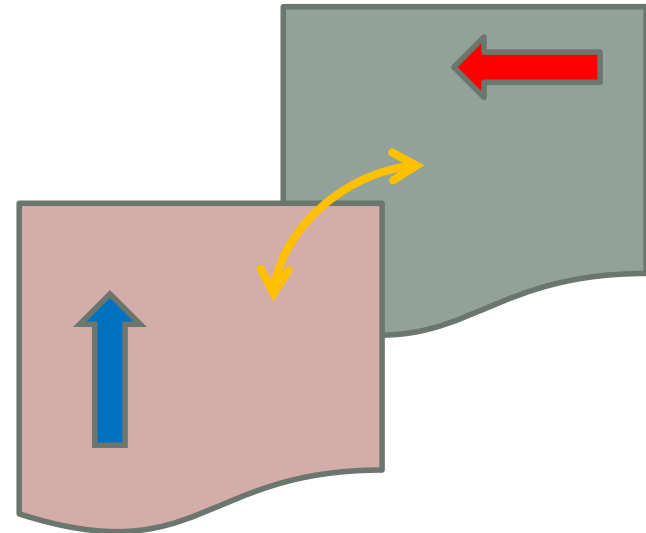
Milieu poreux équivalent

- Modèle à 2 températures

$$\begin{cases} \varepsilon (\rho C_p)_f \frac{\partial T_f}{\partial t} + \varepsilon (\rho C_p)_f \mathbf{U} \cdot \nabla T_f = \nabla \cdot (\lambda_f^{\text{eff}} \nabla T_f) + h (T_f - T_s) \\ (1 - \varepsilon) (\rho C_p)_s \frac{\partial T_s}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda_s^{\text{eff}} \nabla T_s) + h (T_s - T_f) \end{cases}$$

- 2 milieux homogènes équivalents

- Phase solide :
 - Conduction thermique
- Phase fluide :
 - Conduction + dispersion
 - Transport d'énergie
- Terme d'échange de chaleur entre phase



Etude paramétrique sur les propriétés

- Performances thermiques d'un canal rempli de mousse

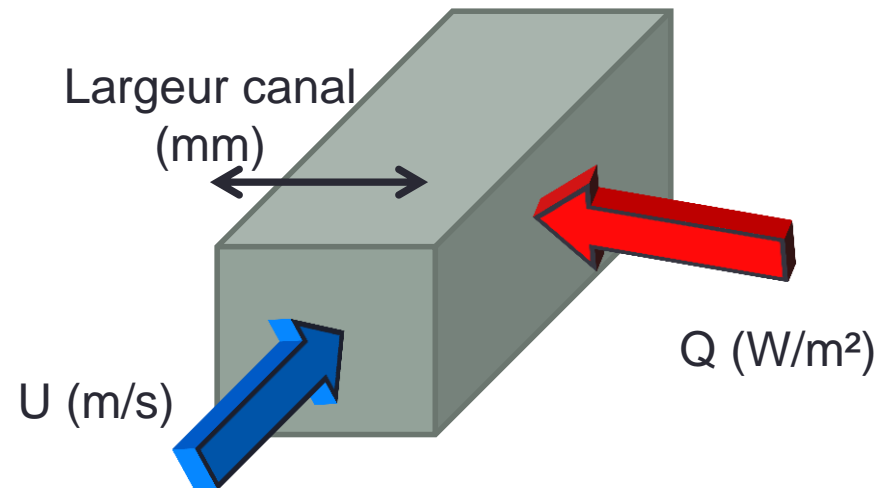
- $$\epsilon_{\text{Canal}} = \frac{T_{\text{fluide}}^{\text{sortie}} - T_{\text{fluide}}^{\text{entrée}}}{T_{\text{mur}} - T_{\text{fluide}}^{\text{entrée}}} (\%) \quad \text{efficacité globale du canal}$$

- $$\epsilon_{\text{mousse}} = \frac{1}{V} \int_V \frac{T_{\text{solide}} - T_{\text{fluide}}}{T_{\text{mur}} - T_{\text{fluide}}} dV (\%) \quad \text{efficacité de la mousse}$$

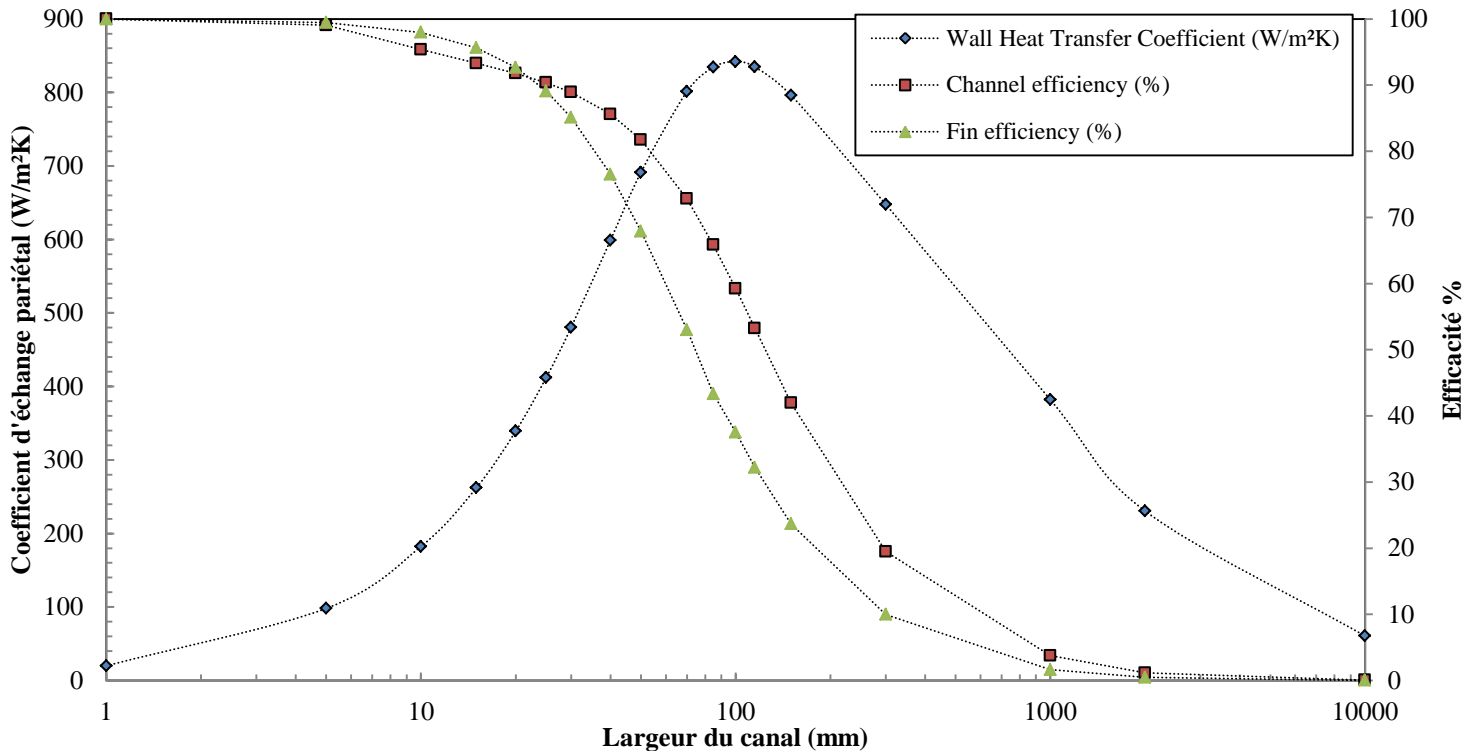
- $$H_{\text{pariétal}} = \frac{\text{Flux pariétal}}{S_{\text{paroi}} \text{DTLM}} (\text{W/m}^2\text{K}) \quad \text{coefficient d'échange pariétal}$$

- Paramètres d'étude:

- Propriétés effectives
- Dimensions d'un canal rectangulaire

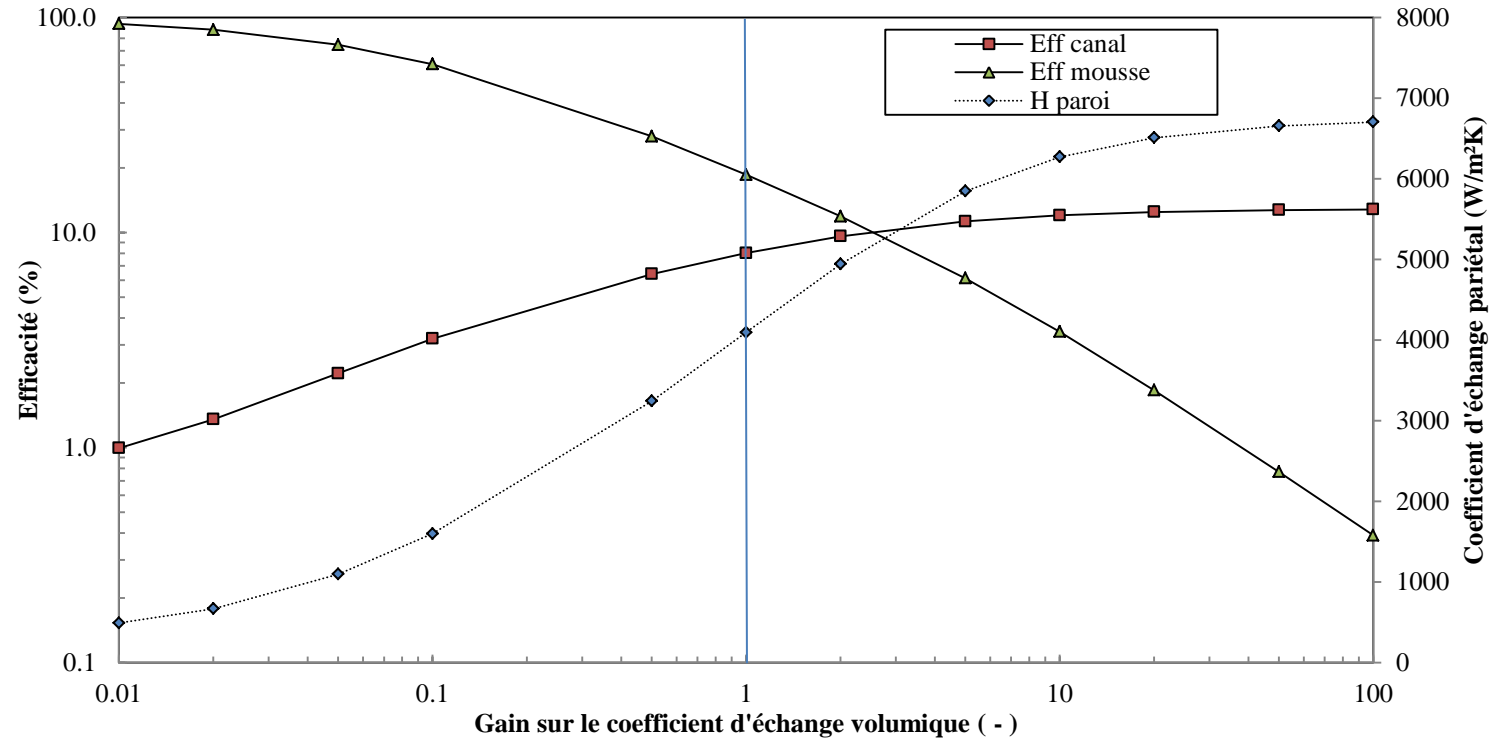


Dimensions du canal



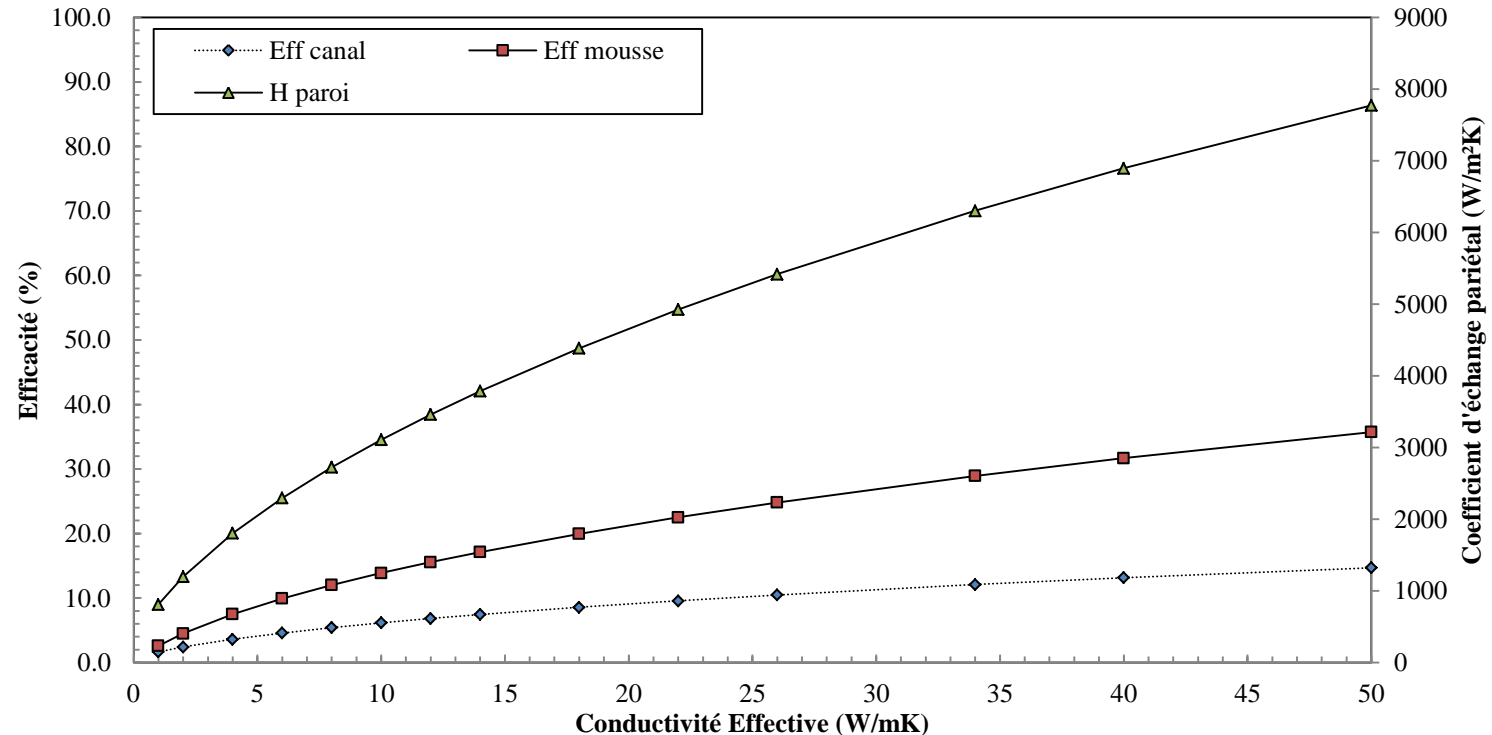
- Efficacité de mousse et du canal décroissante avec la largeur,
- Mise en évidence d'une largeur optimale pour le coefficient d'échange pariétal
- Approches différentes selon les performances souhaitées :
 - Efficacité du canal : réduction de la largeur
 - Maintien en température de la paroi : recherche d'une largeur optimale

Coefficient d'échange volumique



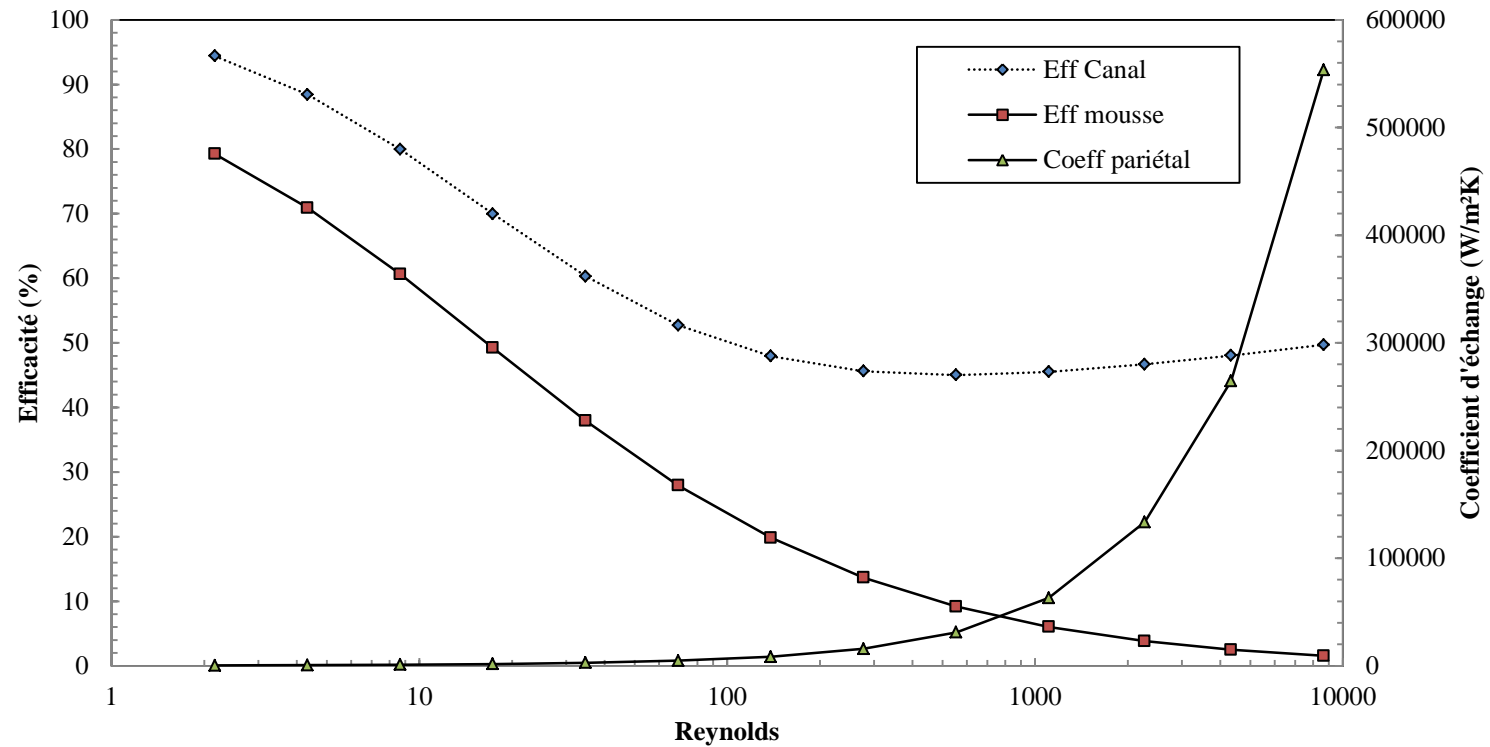
- Efficacité du canal croissante → comportement asymptotique
- Effondrement de l'efficacité de la mousse
- Coefficient d'échange pariétal croissant et asymptotique
- A propriétés constante : inutile d'augmenter indéfiniment le coefficient d'échange brin fluide

Conductivité effective de la phase solide



- Efficacité du canal croissante
 - Efficacité de la mousse
 - Coefficient d'échange pariétal
- } Croissant avec la conductivité effective
- Augmentation du coeff. Pariétal en racine carré de la conductivité de la phase solide

Dispersion thermique



Facteur de mérite

Conclusions